

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-114182

(43)Date of publication of application : 18.04.2003

(51)Int.Cl.

G01N 13/10
B82B 3/00
G01B 11/30
G01B 21/30
G01N 13/16
G02B 21/00
G12B 21/02

(21)Application number : 2002-160482

(71)Applicant : JAPAN SCIENCE & TECHNOLOGY
CORP

(22)Date of filing : 31.05.2002

(72)Inventor : KAWAKATSU HIDEKI

(30)Priority

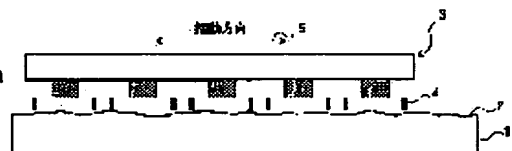
Priority number : 2001184604 Priority date : 19.06.2001 Priority country : JP

(54) CANTILEVER ARRAY, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, SCANNING PROBE MICROSCOPE USING THE SAME, SLIDING DEVICE FOR GUIDE AND ROTATION MECHANISM, SENSOR, HOMODYNE LASER INTERFEROMETER, LASER DOPPLER INTERFEROMETER WITH PHOTOEXCITATION FUNCTION OF SAMPLE AND EXCITATION METHOD FOR CANTILEVER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a cantilever array whose constitution is simple and by which the surface of a sample can be detected precisely, to provide a method of manufacturing the cantilever array, to provide a scanning probe microscope using the cantilever array, to provide a sliding device for a guide and rotation mechanism, to provide a sensor, to provide a homodyne laser interferometer, to provide a laser Doppler interferometer equipped with the photoexcitation function of the sample and to provide an excitation method for a cantilever.

SOLUTION: The cantilever array is provided with many compliant cantilevers 3 which are slid on the surface 2 of the sample 1.



THIS PAGE BLANK (USPTO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-114182

(P2003-114182A)

(43)公開日 平成15年4月18日(2003.4.18)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード*(参考)
G 0 1 N 13/10	Z N M	G 0 1 N 13/10	Z N M A 2 F 0 6 5
			C 2 F 0 6 9
B 8 2 B 3/00		B 8 2 B 3/00	2 H 0 5 2
G 0 1 B 11/30		G 0 1 B 11/30	Z
21/30	1 0 1	21/30	1 0 1 Z
審査請求 未請求 請求項の数35 O L (全 19 頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願2002-160482(P2002-160482)

(22)出願日 平成14年5月31日(2002.5.31)

(31)優先権主張番号 特願2001-184604(P2001-184604)

(32)優先日 平成13年6月19日(2001.6.19)

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72)発明者 川勝 英樹

東京都世田谷区上野毛4-32-13

(74)代理人 100089635

弁理士 清水 守

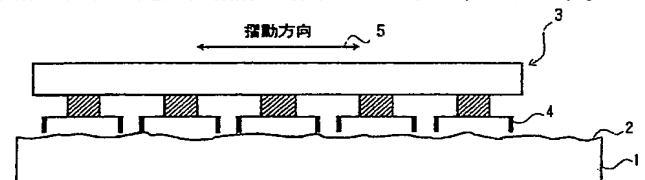
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 カンチレバーアレイ、その製造方法及びそれを用いた走査型プローブ顕微鏡、案内・回転機構の摺動装置、センサ、ホモダイナミック干渉計、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉

(57)【要約】

【課題】 構成が簡単で、的確な試料表面の検出が可能なカンチレバーアレイ、その製造方法及びそれを用いた走査型プローブ顕微鏡、案内・回転機構の摺動装置、センサ、ホモダイナミック干渉計、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計ならびにカンチレバーの励振方法を提供する。

【解決手段】 カンチレバーアレイにおいて、試料1の表面2上を摺動する多数のコンプライアントなカンチレバー3を具備する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 試料の表面上を摺動する多数のコンプライアントなカンチレバーを具備することを特徴とするカンチレバーアレイ。

【請求項 2】 請求項 1 記載のカンチレバーアレイにおいて、前記カンチレバーアレイを前記試料の表面に密に配置し、前記試料に表面弾性波を伝搬させることを特徴とするカンチレバーアレイ。

【請求項 3】 複数のカンチレバーのそれぞれの固有振動数が異なるように配置されることを特徴とするカンチレバーアレイ。

【請求項 4】 単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイの各列の電位を制御し、対向する探針間に高電界を生じさせることにより、液中の電気泳動や、気体中での電界を用いたウイスカ結晶の方向性を指定して成長制御することを特徴とするカンチレバーアレイの製造方法。

【請求項 5】 請求項 4 記載のカンチレバーアレイの製造方法において、前記ウイスカ結晶がカーボンナノチューブであることを特徴とするカンチレバーアレイの製造方法。

【請求項 6】 単結晶シリコンカンチレバーアレイの面と対向する形で平板電極を配置し、各探針先端に電界集中を生じさせ、基板法線方向に針状結晶の成長を行うことを特徴とするカンチレバーアレイの製造方法。

【請求項 7】 各プローブは各々がカンチレバーを有するチップの自重や外部荷重を分担して受け持ち、かつ前記各プローブでの面圧がある範囲内に収まるように受動的に制御することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 8】 各プローブは各々がカンチレバーを有するチップの自重や外部荷重を分担して受け持ち、かつ前記各プローブでの面圧がある範囲内に収まるように受動的に制御することを特徴とする案内・回転機構の摺動装置。

【請求項 9】 光てこによる多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 10】 光てこによる多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とするセンサ。

【請求項 11】 カンチレバーに光を照射し、該各カンチレバーが基準面となすマイクロキャビティ長に応じた干渉輝度を撮像装置を用いて観察することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 12】 カンチレバーに光を照射し、該各カンチレバーが基準面となすマイクロキャビティ長に応じた干渉輝度を撮像装置を用いて観察することを特徴とするセンサ。

【請求項 13】 光干渉計による多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化と

して検出することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 14】 請求項 13 記載の走査型プローブ顕微鏡において、光源として低コヒーレンス光源を用い、干渉の生じる位置の範囲を制限し、寄生干渉の影響を低減することを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 15】 光干渉計による多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とするセンサ。

【請求項 16】 請求項 15 記載のセンサにおいて、光源として低コヒーレンス光源を用い、干渉の生じる位置の範囲を制限し、寄生干渉の影響を低減することを特徴とするセンサ。

【請求項 17】 ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出に用いることを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 18】 ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出に用いることを特徴とするセンサ。

【請求項 19】 光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つことを特徴とする走査型プローブ顕微鏡。

【請求項 20】 光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つことを特徴とするセンサ。

【請求項 21】 微小カンチレバーにレーザスポットを位置決めする微小カンチレバー検出光学系を具備することを特徴とする光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計。

【請求項 22】 請求項 21 記載の光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計において、前記微小カンチレバーにレーザスポットを位置決めする微小カンチレバー検出光学系と、該微小カンチレバー検出光学系と同軸に光学顕微鏡を具備することを特徴とする光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計。

【請求項 23】 試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、該レーザドップラー干渉計の出力信号を用いてカンチレバーを介して前記試料に変調された光を照射し、該照射光により試料の振動を励起し、前記試料の周波数特性や機械的特性を計測することを特徴とする試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計。

【請求項 24】 請求項 23 記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、前記レーザドップラー干渉計をループに含む自励ループを構成することを特徴とする試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計。

【請求項 25】 請求項 23 記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、(a) ネットワークアナライザにより周波数を掃引した信号を用いて光を変調し、該変調した光を用いて試料の振動を励起し、(b) 前記試料の振動を同時に観察している前記レーザドップラー干渉計の出力を前記ネットワークアナライザの信号入力に接続することによって、前記試料の周

波数特性を計測することを特徴とする試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計。

【請求項26】 請求項23記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、前記振動励起のための光を、前記レーザドップラー干渉計の計測光に重畳することにより、一本の光路により振動計測と振動励振を行なうことを特徴とする試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計。

【請求項27】 請求項23記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、前記カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それにより前記カンチレバー先端と前記試料の相互作用や、前記カンチレバー先端に付着した質量の変化を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計。

【請求項28】 多数のカンチレバーの並んだ基板に、その背面から一定光量、一定波長の光を照射し、それによりすべての前記カンチレバーを各々の固有振動数で自励させることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項29】 多数のカンチレバーの並んだ基板に、その背面から強度変調された光を照射し、それにより変調周波数と前記カンチレバーの固有振動数を合致させることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項30】 カンチレバーアレイにおいて振動している該カンチレバーの集合を用いて、前記カンチレバーアレイ自身、もしくはカンチレバーアレイに支持されている物体を変位させることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項31】 カンチレバーアレイにおいて振動している該カンチレバーの集合を用いて、センシングや加工を行うことを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項32】 カンチレバーアレイに一定光量の光を照射して、該カンチレバーの振動を励起し、それにより空隙の間隔をある周波数で変化させ、反射光や透過光の光量を同一の周波数で変調させることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項33】 異なる固有振動数を有するカンチレバーの集合からなるカンチレバーアレイに一定光量の光を照射し、複数の変調周波数で変調された光を反射光や透過光として得ることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項34】 カンチレバーアレイに一定光量の光を照射し、それによりカンチレバー面上に進行波を発生させ、それにより反射光や透過光の周波数を変調させることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【請求項35】 異なる固有振動数を有するカンチレバーの集合からなるカンチレバーアレイに一定光量の光を照射し、複数の周波数を有する光を反射光や透過光として得ることを特徴とするカンチレバーの励振方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ナノサイズの機械振動子を1本もしくは1平方センチあたり100万個以上アレイ状に配列したカンチレバーアレイ、その製造方法及びそれを用いた走査型プローブ顕微鏡、案内・回転機構の摺動装置、センサ、ホモダインレーザ干渉計、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計ならびにカンチレバーの励振方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】本願発明者は、ナノサイズの機械振動子を1本もしくは1平方センチあたり100万個以上アレイ状に配列したナノカンチレバーに関する提案を行ってきた。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、そのナノカンチレバーは、実際の使用にあたって種々の問題があった。

【0004】本発明は、更なるナノカンチレバーの改善を図るために、例えばSiウエハ上に半導体加工技術を活用して、その固有振動数が1MHzから1GHzというプローブナノサイズ機械振動子を形成し、その振動子を摺動面に接触させたチップを配置し、自走式プローブとしたり、該振動子にカンチレバー状の部材を付与し、更に振動を加えた上、表面弾性波を伝搬させることにより、振幅が数nmの表面弾性波を振動子のQ値によって増幅させて、アクチュエータや光変調素子の効率を向上させたり、該カンチレバー状部材で試料表面を摺動させながら、そこに照射された光の反射状況から微小凹凸を輝度変化として検出する走査型プローブ顕微鏡を提供する。

【0005】また、各カンチレバーを光で励振し、振動周波数の変化から像を得る走査型プローブ顕微鏡、物質や質量の測定を行うセンサを提供することを目的とする。

【0006】本発明は、構成が簡単で、的確な試料表面の検出が可能なカンチレバーアレイ、その製造方法及びそれを用いた走査型プローブ顕微鏡、案内・回転機構の摺動装置、センサ、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計ならびにカンチレバーの励振方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕カンチレバーアレイにおいて、試料の表面上を摺動する多数のコンプライアントなカンチレバーを具備することを特徴とする。

【0008】〔2〕上記〔1〕記載のカンチレバーアレイにおいて、前記カンチレバーアレイを前記試料の表面に密に配置し、前記試料に表面弾性波を伝搬させること

を特徴とする。

【0009】〔3〕カンチレバーアレイにおいて、複数のカンチレバーのそれぞれの固有振動数が異なるように配置されることを特徴とする。

【0010】〔4〕カンチレバーアレイの製造方法において、単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイの各列の電位を制御し、対向する探針間に高電界を生じさせることにより、液中の電気泳動や、気体中での電界を用いたウイスカ結晶の方向性を指定して成長制御することを特徴とする。

【0011】〔5〕上記〔4〕記載のカンチレバーアレイの製造方法において、前記ウイスカ結晶がカーボンナノチューブであることを特徴とする。

【0012】〔6〕カンチレバーアレイの製造方法において、単結晶シリコンカンチレバーアレイの面と対向する形で平板電極を配置し、各探針先端に電界集中を生じさせ、基板法線方向に針状結晶の成長を行うことを特徴とする。

【0013】〔7〕走査型プローブ顕微鏡において、各プローブは各々がカンチレバーを有するチップの自重や外部荷重を分担して受け持ち、かつ前記各プローブでの面圧がある範囲内に収まるように受動的に制御することを特徴とする。

【0014】〔8〕案内・回転機構の摺動装置において、各プローブは各々がカンチレバーを有するチップの自重や外部荷重を分担して受け持ち、かつ前記各プローブでの面圧がある範囲内に収まるように受動的に制御することを特徴とする。

【0015】〔9〕走査型プローブ顕微鏡において、光てこによる多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とする。

【0016】〔10〕物質又は質量センサにおいて、光てこによる多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とする。

【0017】〔11〕走査型プローブ顕微鏡において、カンチレバーに光を照射し、この各カンチレバーが基準面となすマイクロキャビティ長に応じた干渉輝度を撮像装置を用いて観察することを特徴とする。

【0018】〔12〕物質又は質量センサにおいて、カンチレバーに光を照射し、この各カンチレバーが基準面となすマイクロキャビティ長に応じた干渉輝度を撮像装置を用いて観察することを特徴とする。

【0019】〔13〕走査型プローブ顕微鏡において、光干渉計による多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とする。

【0020】〔14〕上記〔13〕記載の走査型プローブ顕微鏡において、光源として低コヒーレンス光源を用

い、干渉の生じる位置の範囲を制限し、寄生干渉の影響を低減することを特徴とする。

【0021】〔15〕物質又は質量センサにおいて、光干渉計による多数のカンチレバーの変位を撮像装置により、微小な試料の凹凸を輝度変化として検出することを特徴とする。

【0022】〔16〕上記〔15〕記載の物質又は質量センサにおいて、光源として低コヒーレンス光源を用い、干渉の生じる位置の範囲を制限し、寄生干渉の影響を低減することを特徴とする。

【0023】〔17〕走査型プローブ顕微鏡において、ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出に用いることを特徴とする。

【0024】〔18〕物質又は質量センサにおいて、ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出に用いることを特徴とする。

【0025】〔19〕走査型プローブ顕微鏡において、光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つことを特徴とする。

【0026】〔20〕物質又は質量センサにおいて、光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つことを特徴とする。

【0027】〔21〕光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計において、微小カンチレバーにレーザスポットを位置決めする微小カンチレバー検出光学系を具備することを特徴とする。

【0028】〔22〕上記〔21〕記載の光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計において、前記微小カンチレバーにレーザスポットを位置決めする微小カンチレバー検出光学系と、この微小カンチレバー検出光学系と同軸に光学顕微鏡を具備することを特徴とする。

【0029】〔23〕試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、このレーザドップラー干渉計の出力信号を用いてカンチレバーを介して前記試料に変調された光を照射し、この照射光により試料の振動を励起し、前記試料の周波数特性や機械的特性を計測することを特徴とする。

【0030】〔24〕上記〔23〕記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、前記レーザドップラー干渉計をループに含む自励ループを構成することを特徴とする。

【0031】〔25〕上記〔23〕記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、ネットワークアナライザにより周波数を掃引した信号を用いて光を変調し、この光を用いて試料の振動を励起し、前記試料の振動を同時に観察している前記レーザドップラー干渉計の出力を前記ネットワークアナライザの信号入力に接続することによって、前記試料の周波数特性を計測することを特徴とする。

【0032】〔26〕上記〔23〕記載の試料の光励振

機能を有するレーザドップラー干渉計において、前記振動励起のための光を、前記レーザドップラー干渉計の計測光に重畳することにより、一本の光路により振動計測と振動励振を行なうことを特徴とする。

【0033】〔27〕上記〔23〕記載の試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計において、前記カンチレバーの固有振動数の自励を実現し、それにより前記カンチレバー先端と前記試料の相互作用や、前記カンチレバー先端に付着した質量の変化を、自励振動周波数の変化や、自励振動振幅、位相の変化として検出することを特徴とする。

【0034】〔28〕カンチレバーの励振方法において、多数のカンチレバーの並んだ基板に、その背面から一定光量、一定波長の光を照射し、それによりすべての前記カンチレバーを各々の固有振動数で自励させることを特徴とする。

【0035】〔29〕カンチレバーの励振方法において、多数のカンチレバーの並んだ基板に、その背面から強度変調された光を照射し、それにより変調周波数と前記カンチレバーの固有振動数を合致させることを特徴とする。

【0036】〔30〕カンチレバーの励振方法において、カンチレバーアレイにおいて振動しているこのカンチレバーの集合を用いて、前記カンチレバーアレイ自身、もしくはカンチレバーアレイに支持されている物体を変位させることを特徴とする。

【0037】〔31〕カンチレバーの励振方法において、カンチレバーアレイにおいて振動しているこのカンチレバーの集合を用いて、センシングや加工を行うことを特徴とする。

【0038】〔32〕カンチレバーの励振方法において、カンチレバーアレイに一定光量の光を照射して、このカンチレバーの振動を励起し、それにより空隙の間隔をある周波数で変化させ、反射光や透過光の光量を同一の周波数で変調させることを特徴とする。

【0039】〔33〕カンチレバーの励振方法において、異なる固有振動数を有するカンチレバーの集合からなるカンチレバーアレイに一定光量の光を照射し、複数の変調周波数で変調された光を反射光や透過光として得ることを特徴とする。

【0040】〔34〕カンチレバーの励振方法において、カンチレバーアレイに一定光量の光を照射し、それによりカンチレバー面上に進行波を発生させ、それにより反射光や透過光の周波数を変調させることを特徴とする。

【0041】〔35〕カンチレバーの励振方法において、異なる固有振動数を有するカンチレバーの集合からなるカンチレバーアレイに一定光量の光を照射し、複数の周波数を有する光を反射光や透過光として得ることを特徴とする。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0043】図1は本発明の第1実施例を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【0044】この図において、1は試料（基板）、2はその基板1の摺動面、3はナノカンチレバーアレイ、4は多数のコンプライアントなナノカンチレバー（振動子）、5はナノカンチレバーアレイ3の摺動方向である。

【0045】このように、多数のコンプライアントなカンチレバー4からなるナノカンチレバーアレイ3を用いて摺動方向5に作用させると、摺動面2で磨耗条件に極めて達しにくい条件が実現できる。

【0046】図2は本発明の第2実施例を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【0047】この図において、11は試料（基板）、12は基板11の表面、13は基板11の表面12に密に配置したナノカンチレバーアレイ、14はカンチレバー（振動子）、15は表面弾性波の伝搬方向、16はカンチレバー14の振動方向である。

【0048】このように、カンチレバー14を基板11の表面12に密に配置し、その基板11に表面弾性波を伝搬させる。ナノカンチレバーアレイ13は真空中で10、000程度のQ値を有するため、振幅が数nmの表面弾性波はカンチレバー（振動子）14のQ値によって増幅される。

【0049】この現象を用いて、アクチュエータや、光変調素子の効率を向上させることが可能である。

【0050】なお、カンチレバーの形状や、支持部に対する対称性、非対称性は目的に応じて変えることができる。

【0051】図3は本発明の第3実施例を示す固有振動数が異なる様に形成されたナノカンチレバーアレイの模式図である。

【0052】この図において、21は試料（基板）、22は基板上面、23はカンチレバーアレイ、24A～24Eはカンチレバー、25は探針質量、26は試料、27はカンチレバーの振動方向である。

【0053】この実施例では、カンチレバーアレイ23において、カンチレバーの固有振動数が異なる様にカンチレバー24A～24Eを作製する。つまり、カンチレバー24Aは最も固有振動数の高いカンチレバー（探針質量小）、カンチレバー24Eは最も固有振動数の低いカンチレバー（探針質量大）である。カンチレバー24A～24Eの固有振動数を互いに異なったものにするには、カンチレバーの質量となる探針の大きさを変えるか、カンチレバーの長さを変える。探針の大きさを変えるには、SOI基板のトップシリコン層の厚さに勾配をあらかじめ持たせる。カンチレバーの長さを変えるに

は、マスクのピッチに勾配を持たせるなどの方法がある。

【0054】カンチレバーアレイ23に特定の試料26を固定し、スペクトロスコピーを行うことが可能になる。つまり、試料26の持つ、特定の周波数特性に最も近い固有振動数を有するカンチレバー24A~24Eのいずれかが反応し、カンチレバーの振動振幅として検出される。

【0055】なお、単結晶シリコンを用いたカンチレバーの作製方法を用いると、数センチメートル平方のチップ上に数100万から数億個のカンチレバーの一括作製が可能となる。

【0056】また、多数のカンチレバーを観察対象とする周波数帯に設けることにより、細かい周波数間隔でのスペクトロスコピーが可能となる。

【0057】図4は本発明の第4実施例を示す単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイを示す図であり、図4(a)はそのカンチレバーアレイの斜視図、図4(b)はその拡大斜視図である。

【0058】これらの図において、31はベース基板、32はカンチレバーアレイ、33は対向する探針、34、35は電極、36は電源である。

【0059】単結晶シリコンから作製したカンチレバーアレイ32の各列の電位を制御し、対向する探針33間に高電界を生じさせる。それにより、液中の電気泳動や、気体中での電界を用いたカーボンナノチューブ等ウィスカ結晶の方向性を指定した成長制御が可能となる。

【0060】今までは、微小針状試料の成長箇所と方向の制御が困難であったが、対向するカンチレバーアレイ32の各列の電位を制御することにより、その問題を解決する。しかも、カンチレバーアレイ32では数100万から数億個のカンチレバーを一括で作製可能であるため、針状微小試料の一括作製も可能となる。単結晶シリコンカンチレバーアレイは各カンチレバーの列ごとにベース基板31のシリコンから酸化シリコンの層で電氣的に絶縁されている。そのために、列ごとに電位を外部から配線や電荷照射により与えることが可能である。

【0061】図5は本発明の第5実施例を示す針状結晶の成長の方法の説明図である。

【0062】この図において、41はチャンバ、42はガス導入口、43はガス排気口、44は基板、45は基板44の上面、46は単結晶シリコンカンチレバーアレイ、47は針状結晶成長箇所、48は平板電極、49は交流電源、50はリード線である。

【0063】単結晶シリコンカンチレバーアレイ46の面と対向する形で平板電極48を配置し、各探針先端に電界集中を生じさせ、基板44の法線方向に針状結晶の成長を行う。

【0064】図6は本発明の第6実施例を示す自走式走査型プローブ顕微鏡の模式図である。

【0065】この図において、51は試料、52はその試料51の摺動面、53はプローブ（ナノカンチレバーアレイ）、54は多数のコンプライアントなナノカンチレバー（振動子）、55は試料51の摺動方向である。

【0066】この実施例は、自走式走査型プローブ顕微鏡や案内機構として構成したものであり、図1にも示したように、各プローブ53は各カンチレバー54を有するチップの自重を分担して受け持ち、かつ、各プローブ53での面圧がある範囲内に収まるように受動的に制御している。そのため、探針法線方向に能動制御を行わなくても数10nN以下の力で走査が行える自走式走査型プローブ顕微鏡が実現できる。

【0067】カンチレバー54の変位計測は、カンチレバーアレイ53のうち的一本、数本、もしくはすべてを対象とする。

【0068】なお、自走のために、基板とカンチレバー54の間に光の定在波を発生させ、各カンチレバーにその構造から生じる摺動方向55に異方性のある振動を生じさせる方法が用いられる。

【0069】もしくは、試料51やカンチレバーアレイ53に表面弾性波を発生させ、カンチレバーアレイ53の変位を生じさせる方法がある。

【0070】図7は本発明の第7実施例を示す走査型プローブ顕微鏡や物質又は質量センサの模式図である。

【0071】この図において、61は試料、62はその試料61の表面、63はプローブ（ナノカンチレバーアレイ）、64は多数のコンプライアントなナノカンチレバー（振動子）、65は反射防止膜、66はビームスプリッターやハーフミラー、67は光てこ入射光、68は反射光、69は結像レンズ、70はCCDカメラ等の撮像装置（撮像素子）、60は試料61の摺動方向である。

【0072】この実施例では、光てこ入射光67をプローブ63に入射して、ナノカンチレバー64の変位により、試料61の表面62の微小凹凸としての反射光68が結像レンズ69を介して撮像装置70に取り込まれる。

【0073】すなわち、カンチレバー64を結像レンズ69とCCDカメラ等の撮像装置70を用いて観察し、カンチレバー64に光てこ入射光67を照射する。各カンチレバー64の姿勢に応じて反射光68が撮像装置70に入射する。カンチレバー64の角度変位によって、試料61の表面62の微小な凹凸が輝度変化としてCCD等の撮像装置70に変換される。

【0074】カンチレバー64のピッチをカバーするに足る範囲で試料61を面内走査することにより、試料61の表面62全体の観察が可能になる。

【0075】このように、光てこ入射光による多数のカンチレバーを用いた試料の表面全体の観察を行うことができる。

【0076】図8は本発明の第8実施例を示す走査型プ

ロープ顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【0077】この図において、71は試料、72はその試料71の表面、73はプローブ（ナノカンチレバーアレイ）の微小干渉キャビティ、74は多数のコンプライアントなナノカンチレバー（振動子）、75は基準面、76はビームスプリッタやハーフミラー、77は入射光、78は反射光、79は結像レンズ、80はCCDカメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

【0078】このように、カンチレバー74を結像レンズ79とCCDカメラ等の撮像装置80を用いて観察し、カンチレバー74に光を照射する。各カンチレバー74が基準面75となすマイクロキャビティ長に応じた干渉輝度が撮像装置80に入射する。

【0079】このように、カンチレバー74のピッチをカバーするに足る範囲で試料71を面内走査することにより、試料71の表面72全体の観察が可能になる。

【0080】この実施例では、光干渉計により多数のカンチレバーの変位を検知する走査型プローブ顕微鏡や物質センサ、質量センサを構築することができる。

【0081】また、本発明の第9実施例として、光干渉計により多数のカンチレバーの変位を検出する場合に、光てこ以外に起因する干渉を低減する方法として、光源としてSLD（スーパーラミネセントダイオード）等の低コヒーレンス光源や、白色光源を用い、干渉の生じる位置の範囲を制限し、寄生干渉の影響を低減する方法がある。

【0082】図9は本発明の第10実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その1）の模式図である。

【0083】この図において、90は光ファイバ、91はレーザ出射部、92は1/4波長板、93はハーフミラー、94は対物レンズ、95は試料96のxyzピエゾスキャナー、96は試料、97はカンチレバー、98はミラー、99は結像レンズ、100はxyステージ、101はCCDカメラ等の撮像装置（撮像素子）、102は光学系ユニット、103はその光学系ユニット102のxyz位置決め機構、104はAFMベースプレート、105は真空チャンバ隔壁、106はステージ支持バネである。

【0084】図10は本発明の第11実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その2）の模式図である。

【0085】この図において、110は真空チャンバ、111は光半導体装置、112は電極、113はその電極112へ電力を供給するためのリード線、114は試料のxyzピエゾスキャナー、115は試料、116はカンチレバー、117は対物レンズ、118は反射光、119は結像レンズ、120はxyステージ、121はCCDカメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

【0086】図11は本発明の第12実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサや質量センサ（その3）の模式図である。

【0087】この図において、122は試料準備用真空チャンバ、123～125は試料、カンチレバー搬送棒、126は光ファイバ、127は光学系ユニット、128はレーザ出射部、129はビームスプリッタ、130は試料、131はカンチレバー、132はCCDカメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

10 【0088】図12は本発明の第13実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その4）の模式図である。

【0089】この図において、133は試料準備用真空チャンバ、134、135は試料、カンチレバー搬送棒、136は試料観察用真空チャンバ、137は光ファイバ、138はカンチレバー検出光学系、139はレーザ出射部xyzステージ、140はレーザドップラー出射部、141は試料xyzステージ、142は試料、143はカンチレバー、144はCCDカメラ等の撮像装置（撮像素子）である。

20 【0090】図9～図12に示したように、ヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサや質量センサを構成することができる。つまり、ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出に用いることができる。

【0091】従来広く用いられている光てこ機構は、レーザスポットを小さくすると検出分解能が低下する。レーザドップラー計では、1ミクロンオーダーにレーザスポット径を小さくすることが可能で、かつ、原理的に、

30 光てこ計のように、スポット径を小さくすることが検出感度を劣化させることにならない。

【0092】光てこ機構や、ホモダイン干渉計では、検出信号の周波数が高くなることは、1/fノイズの低下以外にはSN比改善の点で利点とならない。これに対して、レーザドップラー計の信号はドップラー効果を検出するため、被測定対象の速度や振動周波数が高くなるほど信号強度が高くなる。

【0093】そのため、固有振動数の高い小型カンチレバーの振動検出にレーザドップラー計を用いることができるという利点がある。すなわち、ヘテロダイン計測を行うことにより、よりSN比の高い検出が可能となる。

【0094】上記した第10～13実施例は、カンチレバーのねじれを計測することにも応用可能であり、堅いカンチレバーの、周波数の高いねじれ固有振動を検出し、探針の試料面内振動振幅の計測に応用可能である。

【0095】図13は本発明の第14実施例を示す光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つ走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

50 【0096】この図において、151はレーザ出射部、152は1/4波長板、153はダイクロイックミラ

一、154は対物レンズ、155はカンチレバー、156は結像レンズ、157はCCDカメラ等の撮像装置(撮像素子)である。

【0097】このように、光学顕微鏡を同軸に持つレーザヘテロダイン干渉計、もしくはレーザホモダイン干渉計、もしくは光でこの機構を用いることによって、光学顕微鏡の視覚情報を用いて微小振動子上にレーザスポットを位置決めすることが可能となる。

【0098】図14は本発明の第15実施例を示すカンチレバーの励振装置の構成図である。

【0099】この図に示すように、ここでは、上記第14実施例における、結像レンズ156、CCD157とダイクロイックミラー153を除去した構成とする。

【0100】次に、本発明の第16、第17実施例について説明する。

【0101】従来の光ファイバ式干渉計では、632nm程度の赤色レーザを用いた場合、コアが4 μ m、クラディングが125 μ mの光ファイバを切断したものをカンチレバーから数 μ mのところを位置決めさせ、ホモダイン干渉計を行っていた。この場合、以下の点が問題となっていた。

【0102】(1) 4 μ mより小さい試料へ光を照射した場合、損失が大きい。

【0103】(2) 125 μ mのクラディングが大きい場合、100 μ mより小さなカンチレバーの場合、カンチレバーのベース部とクラディングの位置的干渉が生じやすい。

【0104】(3) 光ファイバ端面での屈折率の変化により生じる、全光量の4%程度の反射光をホモダイン計測の基準光としているため、干渉の信号強度が小さい。

【0105】(4) カンチレバーと光ファイバとの距離が自由に選べない。

【0106】そこで、上記の問題を解消するために、以下のように構成する。

【0107】図15は本発明の第16実施例を示す微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【0108】この図において、160は光ファイバ、161は第1の支持部材、162はレーザ出射部、163はビームスプリッタ、164は第2の支持部材、165はミラー位置決め機構、166は基準ミラー、167は対物レンズ、168はカンチレバー支持部材、169はカンチレバーである。

【0109】光ファイバ160を用いることにより、真空環境、低温環境への光の導入、光計測を容易にするとともに、光ファイバ160の計測側の端部にコリメートレンズ(図示なし)、ビームスプリッタ163、基準ミラー166、対物レンズ167等を配置し、ミクロン大のレーザの焦点を1mm以上離れた位置に配置する。

【0110】これにより、従来の光ファイバコアを直接

カンチレバーに対向させる方法と比べて、よりミクロン大のカンチレバー169の変位や振動周波数の計測を可能とし、より強い参照光を用いた干渉計測を可能とすることができる。また、より高い信号対雑音比を実現し、より高い空間設計の自由度を与えることができる。

【0111】このように構成することにより、上記の問題点(1)～(4)すべてを解決することができる。

【0112】また、微小カンチレバー用光ファイバはホモダインレーザ干渉計において、カンチレバーや試料の像を観察する必要がある場合は、以下のような構成とする。

【0113】図16は本発明の第17実施例を示すカンチレバーや試料の像を観察するための微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【0114】この図において、170は光ファイバ、171はレーザ出射部、172はダイクロイックミラー、173は第1の支持部材、174はビームスプリッタ、175は第2の支持部材、176はミラー位置決め機構、177は基準ミラー、178は対物レンズ、179はカンチレバー支持部材、180はカンチレバー、181はカメラである。

【0115】このように、ダイクロイックミラー172を用いて測定光を導入し、ダイクロイックミラー172を透過する光を用いてカメラ181により像観察を行う。

【0116】これらの方法において、測定光と異なる波長の光を変調してカンチレバーの加振を行うことが可能である。

【0117】次に、本発明の第18実施例について説明する。

【0118】従来、 piezo素子によって励振可能な周波数は、素子の厚さ、素子中の音速、温度、素子の構造等の影響を受け、piezo素子自身が固有の周波数特性を持つ。この問題点は、励起しようとする周波数がMHz程度以上になるとより顕著となる。

【0119】例えば、50 μ mの厚さのpiezo素子に電極と絶縁板を接着した素子で励振可能な振動は、数MHz程度までで、それ以上は離散的な周波数でしか励振可能でない。

【0120】この問題点のため、MHz以上の帯域で、piezo素子などを用いて試料の振動励起を行い、試料の周波数特性の計測を行なう場合、試料の周波数特性にpiezo素子の周波数特性が重畳し、試料の周波数特性の評価を困難、もしくは不可能にしていた。更に、高周波になるほど、piezo素子への試料の固定方法や接着の善し悪しによる測定結果の差が生じ、試料の特性の評価をより困難にしていた。

【0121】同様に、piezo素子などを用いて、走査型プローブ顕微鏡の力検出用カンチレバーの振動励振を行

なう場合、MHz以上の帯域でカンチレバー固有振動数の高周波化が進むと、励振がより困難になる。その原因としては、カンチレバーの励振を行う場合も、ピエゾ素子とカンチレバーの固定方法により、励振特性の測定結果や測定効率に差が生じることが考えられる。また、真空中で励振を行う場合、カンチレバー支持部材に振動励起用ピエゾ素子を設け、このピエゾ素子への配線を行う必要があり、装置を複雑にしていた。

【0122】その結果、装置の信頼性の低下、真空度の劣化、走査型プローブ顕微鏡の大型化、高温加熱が困難、等の問題を招いていた。

【0123】この実施例では、上記状況に鑑みて、高周波領域や真空環境における測定、また、小型化、高信頼化を可能にする試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計を提供する。

【0124】図17は、本発明の第18実施例を示す、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計を用いた試料の特性の測定装置の構成図である。

【0125】この図において、この実施例の試料の特性の測定装置は、光学的励起部200、信号処理部300、レーザドップラー干渉部400、AFM（原子力間顕微鏡）試料ステージ制御部500、ネットワークアナライザ600からなる。

【0126】光学的励起部200は、レーザダイオード（LD）ドライバ201、そのLDドライバ201によって駆動されるレーザダイオード（LD）202、ミラー203からなる。

【0127】また、信号処理部300は、第1スイッチ（sw1）301、第2スイッチ（sw2）302、デジタイザ303、位相シフター304、フィルタ305、増幅器306からなる。

【0128】レーザドップラー干渉部400は、He-Neレーザ401、第1のPBS（ポラライジングビームスプリッタ）402、第2のPBS403、合波器404、レンズ405、偏波面保存ファイバ406、センサヘッド（レーザ出射部）407（レンズ $\lambda/4$ 波長板-レンズ組み立て体）、ナノカンチレバー408、探針（プローブ）408A、ミラー409、AOM（音響・光変調器）410、 $\lambda/2$ 波長板411、第3のPBS412、偏光子413、ホトダイオード414、BPF（バンドパスフィルタ）415、アンプ416、418、423、デジタイザ417、419、遅延ライン420、DBM（Double Balanced Mixer；ダブルバランスドミキサ）421、LPF（ローパスフィルタ）422からなる。

【0129】さらに、AFM試料ステージ制御部500は、LO（ローカルオシレータ）に接続されるDBM501、コントローラ502、試料503、その試料503のピエゾ素子504からなる。

【0130】ネットワークアナライザ600は、信号入

力端子601、評価出力端子602を有している。

【0131】そこで、この実施例では、例えば、780nmの波長を有するレーザダイオード（LD）202の出力光を、632nmの波長を有するHe-Ne（ヘリウム-ネオン）レーザ401のレーザドップラー干渉計の計測光に重畳させ、それを4 μ mコアの偏波面保存ファイバ406に導入し、レーザ出射部407、ナノカンチレバー408を経て試料503に照射する。ただし、波長は、上記に限定されない。

【0132】計測方法によって以下の使い方ができる。

【0133】（1）レーザドップラー干渉部400の出力信号を移相、増幅、場合によってはフィルタリングや2値化し、その信号を用いて780nmの波長を有するレーザダイオード202の変調を行う。これにより、試料503の固有振動数において自励を生じさせることが可能となる。つまり、フィルター特性を選択することにより、特定の振動モードを励振することが可能となり、ナノメートルオーダーからマイクロメートルオーダーの試料としての3次元構造物の自励を実現することが可能となる。

【0134】また、走査型プローブ顕微鏡の力検出素子であるカンチレバー408に光を照射することにより、カンチレバー408の自励を生じさせ、自励周波数の変化からカンチレバー408先端に配置した探針408Aと試料503の相互作用や質量変化を検出することが可能となる。

【0135】（2）ネットワークアナライザ600で周波数を掃引した信号を発生させ、その信号を用いて780nmの波長を有するレーザダイオード202の変調を行う。レーザドップラー干渉部400の出力信号をネットワークアナライザ600の信号入力端子601に接続する。これにより、試料503の周波数特性を、ネットワークアナライザ600と、光励振機能を有するレーザドップラー干渉部400を用いて計測することが可能となる。

【0136】なお、計測光と振動励起光は重畳させて同一の光学系を用いることも、異なる光路を用いて試料に照射させることも可能である。

【0137】また、レーザドップラー干渉部400の光計測プローブ光401にカンチレバー408の振動を励振するためのLD202で発生した光を重畳させる。その際、励振のための光は、レーザドップラー干渉部400の速度信号出力に移相、2値化、増幅等の処理を行い、その信号を用いてレーザダイオード202等の光源の変調を行ったものか、発信器によって指定された周波数、もしくは掃引された周波数で変調したものを用いる。

【0138】以上により、レーザドップラー干渉計で計測しようとする測定対象に固有の振動が励起され、測定対象の周波数特性の計測や、振動を応用した計測や加工が可能となる。

【0139】次に、本発明の第19実施例について説明する。

【0140】従来、レーザドップラー干渉計で試料の振動特性の評価を行う場合、試料にピエゾ素子を貼り付け加振するか、試料に変調された光を照射する必要がある。

【0141】図18は本発明の第19実施例を示す試料の周波数特性の測定装置の模式図である。

【0142】この図において、701はレーザ、702はレンズ、703はそのレンズ支持部、704は干渉キャビティ（空隙）、705は試料、706は試料支持部である。

【0143】ここでは、レーザドップラー干渉計の、一定光量の測定光であるレーザ701と、試料705がその一端をなす干渉キャビティ704を用いることにより、試料705をその固有振動数で自励させ、レーザドップラー干渉計を用いてその振幅や速度、周波数を計測する。

【0144】レーザドップラー干渉計の計測光を試料705に照射する際、試料705がある光学面と干渉キャビティ704を生じるようにする。レーザドップラー干渉計の1/2波長の整数倍に干渉キャビティ704がなった場合、試料705の振動が生じる。その振動は試料705の固有振動数と一致している。この振動はレーザドップラー干渉計によって計測される。

【0145】この振動機能を用いることにより、光励振の変調された光を用いなくても試料の振動励振が可能となる。

【0146】以下、本発明の第20実施例について説明する。

【0147】従来、3次元のナノ・マイクロ構造物を振動させ、それをセンサーやアクチュエータとして用いる場合、ピエゾ素子や表面弾性波素子が用いられてきた。

【0148】本発明の実施例では、光を用いた励振機能を、振動性を有する構造体に適応し、アクチュエーション、加工、センシングを行うものである。なお、干渉によって光の定在波が生じる様な構造体で、その一部が振動性を有する場合、自励を生じることや、強度変調された光により振動を生じることが、以下の論文等で既に知られている。

【0149】(1) "Optically activated vibrations in a micro machined silica structure", S. Venkatesh, Electron letters, 21 315 (1985).

(2) "Optical activation of a silicon vibrating sensor", M. V. Andres, K. W. H. Foulds, M. J. Tudor, Electronics Letters 22, 1099, (1986).

(3) "Self-excited vibration of a self-supporting thin film caused by laser irradiation", K. Hane, K. Suzuki, Sensors and Actuators A 51, 179-182 (1996).

シリコンマイクロマシン技術により、近年、100万本/cm² 以上の高密度でカンチレバーアレイを作製することが可能になり、それを用いた計測、加工、アクチュエーションが期待されている。しかし、アレイ中の特定のカンチレバーの集合の励振や、すべてのカンチレバーの励振方法はまだ確立されていない。

【0150】ここでは、光励振による励振方法をカンチレバーアレイに適応させる方法、それにより新しい機能を実現することに関する。以下に、順次説明する。

【0151】図19は本発明の第20実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0152】この図において、800は基板、801は干渉キャビティ、802は基板800上に形成されたそれぞれ干渉キャビティ801を有する複数の探針付きカンチレバー、803はそれらのカンチレバー802によって構成されるカンチレバーアレイ、804はレーザ光である。

【0153】ここでは、カンチレバーアレイ803と基板800の間に存在する干渉キャビティ（空隙）801の間隔（干渉キャビティ長）を、光励振に用いる波長の整数倍に選び、基板800背面から一定光量の振動励起光であるレーザ光804を照射する。干渉キャビティ（空隙）801に存在する光の定在波と、光によるカンチレバー802の特性変化によりカンチレバー802が自励を生じる。カンチレバーアレイ803を構成するカンチレバー802の固有振動数が同一でなくても、各々のカンチレバー802はその固有振動数において自励を生じる。

【0154】図20は本発明の第21実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0155】この図において、800は基板、815, 816, 817, 818はその基板800上に形成された、それぞれ干渉キャビティ811, 812, 813, 814を有する探針付きカンチレバー、819はそれらのカンチレバー815, 816, 817, 818によって構成されるカンチレバーアレイ、820は一定光量のレーザ光（波長λ）である。

【0156】ここでは、カンチレバーアレイ819において、カンチレバーの集合815, 816, 817, 818ごとに、基板800となす干渉キャビティ（空隙）811, 812, 813, 814の間隔空隙を変える。それにより、振動励振光の波長を選ぶことができ、意図したカンチレバーの集合のみを励振させることが可能となる。

【0157】図21は本発明の第22実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0158】この図において、800は基板、832はその基板800上に形成された干渉キャビティ831を有する探針付きカンチレバー、833はそれらのカンチレバー832によって構成されるカンチレバーアレイ、834は強度変調されたレーザー光である。

【0159】ここでは、カンチレバーアレイ833の基板800の背面から光量変調された振動励振光であるレーザー光834を照射する。光量変調の周波数と固有振動数の一致したカンチレバー832が励振される。これにより、特定のカンチレバーの集合を選択的に励振することが可能となる。

【0160】図22は本発明の第23実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0161】この図において、800は基板、842はその基板800上に形成された干渉キャビティ841を有する探針付きカンチレバー、843はそれらのカンチレバー842によって構成されるカンチレバーアレイ、844は強度一定のレーザー光（波長 λ ）、845は探針先端の軌跡、846はスライダー、847はスライダー846の変位方向である。

【0162】ここでは、一平方センチメートルあたり100万本の探針付きカンチレバー842を有する基板800の自重は約0.1gであるため、すべての探針で自重を支えた場合、個々の探針は1nNの荷重を受け持つことになる。この状態において、光励振を行うと、カンチレバー842の振動が励起される。探針先端が楕円振動を描くような異方性を有すると、振動の励起に伴ってカンチレバーアレイ843を有する基板800が面内方向に変位する。

【0163】また、探針を上に向け、そのうえに物体であるスライダー846をおいた場合、そのスライダー846が変位させられる。すべての探針が同時にスライダー846に接触すると、スライダー846のQ値が下がり、振動体に十分な振動エネルギーが蓄えられない場合は、探針の高さを不均一にするなどして、探針とスライダー846との接触する頻度が小さくなるように設計する。

【0164】図23は本発明の第24実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0165】この図において、800は基板、855、856、857、858はその基板800上に形成された干渉キャビティ851、852、853、854を有するカンチレバー（855は反応膜a付きカンチレバー、856は反応膜b付きカンチレバー、857は反応膜c付きカンチレバー、858は反応膜d付きカンチレバー）、859はそれらのカンチレバーによって構成されるカンチレバーアレイ、860は一定光量のレーザー光（波長 λ ）である。

【0166】ここでは、カンチレバーの集合に特定の薄膜を塗布し、特定の物質と反応するようにしておく。特定の物質の有無を調べる場合、上記した方法により、そのカンチレバーの集合が振動励起されるような振動周波数、もしくは光の波長を選ぶ。それにより、カンチレバーアレイ859の中の特定のカンチレバーの集合のみを用いて計測を行うことが可能となる。

【0167】図24は本発明の第25実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0168】この図において、800は基板、862、863、864、865、866はその基板800上に形成された干渉キャビティ861を有する固有振動数のそれぞれ異なるカンチレバー、867はそれらのカンチレバーによって構成されるカンチレバーアレイ、868は基板800の背面から照射される強度一定のレーザー光（波長 λ ）、869は異なる強度変調周波数を有するレーザー光（波長 λ ）である。

【0169】ここでは、カンチレバーアレイ867に強度一定のレーザー光868を照射し、それによりカンチレバー862、863、864、865、866の振動を励起し、それにより干渉キャビティ861の間隔をある周波数で変化させ、それにより反射光や透過光の光量を同一の周波数で変調させる。異なる固有振動数を有するカンチレバーの集合からなるカンチレバーアレイ867に強度一定のレーザー光868を照射すると、複数の変調周波数で変調された光869を反射光や透過光として得ることができる。

【0170】図25は本発明の第26実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【0171】この図において、800は基板、872、873、874、875、876はその基板800上に形成された干渉キャビティ871を有する固有振動数のそれぞれ異なるカンチレバー、877はそれらのカンチレバーによって構成されるカンチレバーアレイ、878は基板800の背面から照射される強度一定のレーザー光（波長 λ ）、879は基板800の斜め上方から照射される一定波長の入射光、880は異なる周波数を有するレーザー光（波長 λ_1 、 λ_2 、…、 λ_s ）である。

【0172】ここでは、カンチレバーアレイ877に強度一定のレーザー光878を照射し、それによりカンチレバー877面上に波を発生させ、それにより反射光や透過光の周波数を変調させる。

【0173】なお、光音響変調を生じさせる構造はカンチレバーに限られず、両端支持梁などの振動性構造体を含むことができる。

【0174】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

【0176】(A) 構成が簡単で、的確な試料面のナノオーダーの検出ができる。

【0177】(B) 多数のコンプライアントなカンチレバーからなるアレイを用いて摺動方向に作用させると、摺動面で磨耗条件に極めて達し難くすることができる。

【0178】(C) 振動を加えた上、表面弾性波を伝搬させると、振幅が数 nm の表面弾性波は振動子の Q 値によって増幅され、アクチュエータや光変調素子の効率を向上させることができる。

【0179】(D) 光で入射光による多数のカンチレバーによる試料の表面全体の観察を行うことができる。

【0180】(E) カンチレバー状部材で試料表面を摺動させながらそこに照射された光の反射状況から微小凹凸を輝度変化として検出することができる。

【0181】(F) 光干渉計により多数のカンチレバーの変位を検知する走査型プローブ顕微鏡を構築することができる。

【0182】(G) ヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡を構成することができる。つまり、ヘテロダインレーザドップラー計をカンチレバーの振動検出に用いることができる。

【0183】(H) 光学顕微鏡の視覚情報を用いて微小振動子上にレーザスポットを位置決めすることが可能となる。

【0184】(I) 高周波帯域において、試料としての 3 次元構造物の周波数特性の正確な評価を行うことができる。

【0185】(J) 励振と検出をともに光で行うことにより、装置の機械部分の単純化、小型化とそれに伴う信頼性の向上と装置の高清浄化を図ることができる。

【0186】(K) 励振と検出をともに光で行うことにより、試料に光を当てるだけで計測が可能となるため、高い時間効率で多数の試料の評価が可能となる。

【0187】(L) 励振と検出をともに光で行うことにより、超高真空、極低温等の特殊環境に於いて、装置の単純化、小型化と高清浄化を図ることができる。

【0188】(M) レーザドップラー干渉計の計測光を試料に照射する際、試料がある光学面と干渉キャビティを生じるように配置することにより、試料の固有振動数で自励させ、前記レーザドップラー干渉計を用いてその振幅や速度、周波数を計測することができる。

【0189】(N) 光励振による励振方法をカンチレバーアレイに適応させ、新しい機能、例えば、アクチュエーション、物質選別、物質認識、光変調、質量センシングを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施例を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【図 2】本発明の第 2 実施例を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【図 3】本発明の第 3 実施例を示すナノカンチレバーアレイの模式図である。

【図 4】本発明の第 4 実施例を示すナノカンチレバーアレイを示す図である。

【図 5】本発明の第 5 実施例を示す針状結晶の成長方法の説明図である。

【図 6】本発明の第 6 実施例を示す自走式走査型プローブ顕微鏡の模式図である。

【図 7】本発明の第 7 実施例を示す走査型プローブ顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【図 8】本発明の第 8 実施例を示す走査型プローブ顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【図 9】本発明の第 10 実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 1）の模式図である。

【図 10】本発明の第 11 実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 2）の模式図である。

【図 11】本発明の第 12 実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 3）の模式図である。

【図 12】本発明の第 13 実施例を示すヘテロダインレーザドップラー計を用いた走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサ（その 4）の模式図である。

【図 13】本発明の第 14 実施例を示す光学顕微鏡をカンチレバー検出光学系と同軸に持つ走査型力顕微鏡や物質センサ、質量センサの模式図である。

【図 14】本発明の第 15 実施例を示すカンチレバーの励振装置の構成図である。

【図 15】本発明の第 16 実施例を示す微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【図 16】本発明の第 17 実施例を示すカンチレバーや試料の像を観察するための微小カンチレバー用光ファイバ式ホモダインレーザ干渉計の構成図である。

【図 17】本発明の第 18 実施例を示す、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計を用いた試料の特性の測定装置の構成図である。

【図 18】本発明の第 19 実施例を示す試料の周波数特性の測定装置の模式図である。

【図 19】本発明の第 20 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図 20】本発明の第 21 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図 21】本発明の第 22 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図 22】本発明の第 23 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図 23】本発明の第 24 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図 24】本発明の第 25 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【図 25】本発明の第 26 実施例を示すカンチレバーの励振方法の説明図である。

【符号の説明】

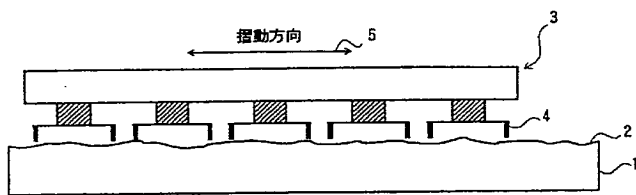
1, 11, 21 試料 (基板)
 2 基板の摺動面
 3, 13, 23, 32 ナノカンチレバーアレイ
 4, 54, 64, 74 多数のコンプライアントなナノカンチレバー (振動子)
 5 ナノカンチレバーアレイの摺動方向
 12 基板の表面
 14, 24A~24E, 97, 116, 131, 143, 155, 169, 180, 802, 815, 816, 817, 818, 832, 842, 855, 856, 857, 858, 862, 863, 864, 865, 866, 872, 873, 874, 875, 876
 カンチレバー (振動子)
 15 表面弾性波の伝搬方向
 16, 27 カンチレバーの振動方向
 22, 45 基板上面
 25 探針質量
 26, 51, 61, 71, 96, 115, 130, 142, 503, 705 試料
 31 ベース基板
 33 対向する探針
 34, 35, 112 電極
 36 電源
 41 チャンバ
 42 ガス導入口
 43 ガス排気口
 44, 800 基板
 46 単結晶シリコンカンチレバーアレイ
 47 針状結晶成長箇所
 48 平板電極
 49 交流電源
 50, 113 リード線
 52 試料の摺動面
 53, 63 プローブ (ナノカンチレバー)
 55, 60 試料の摺動方向
 62, 72 試料の表面
 63 プローブ (ナノカンチレバーアレイ)
 65 反射防止膜
 66, 76 ビームスプリッタやハーフミラー
 67 光てこ入射光
 68, 78, 118 反射光
 69, 79, 99, 119, 156 結像レンズ
 70, 80, 101, 121, 132, 144, 157

撮像装置 (撮像素子)

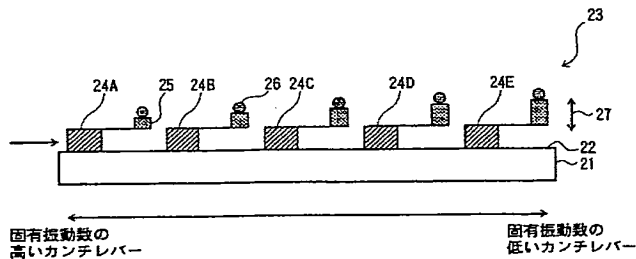
73 プローブ (ナノカンチレバーアレイ) の微小干渉キャビティ
 75 基準面
 77 入射光
 90, 126, 137, 160, 170 光ファイバ
 91, 128, 151, 162, 171 レーザ出射部
 92, 152 1/4波長板
 93 ハーフミラー
 94, 117, 154, 167, 178 対物レンズ
 95, 114 試料のxyzピエゾスキャナー
 98, 203, 409 ミラー
 100, 120 xyステージ
 102, 127 光学系ユニット
 103 光学系ユニットのxyz位置決め機構
 104 AFMベースプレート
 105 真空チャンバ隔壁
 106 ステージ支持パネ
 110 真空チャンバ
 111 光半導体装置
 122, 133 試料準備用真空チャンバ
 123~125, 134, 135 試料、カンチレバー搬送棒
 129, 163, 174 ビームスプリッタ
 136 試料観察用真空チャンバ
 138 カンチレバー検出光学系
 139 レーザ出射部xyzステージ
 140 レーザドップラー出射部
 141 試料xyzステージ
 153, 172 ダイクロイックミラー
 161, 173 第1の支持部材
 164, 175 第2の支持部材
 165, 176 ミラー位置決め機構
 166, 177 基準ミラー
 168, 179 カンチレバー支持部材
 181 カメラ
 200 光学的励起部
 201 レーザダイオード (LD) ドライバー
 202 レーザダイオード (LD)
 300 信号処理部
 301 第1スイッチ (sw1)
 302 第2スイッチ (sw2)
 303, 417, 419 デジタイザ
 304 位相シフター
 305 フィルター
 306 増幅器
 400 レーザドップラー干渉部
 401 He-Neレーザ
 402 第1のPBS (ポラライジングビームスプリ

ッタ)
 403 第2のPBS
 404 合波器
 405, 702 レンズ
 406 偏波面保存ファイバ
 407 センサヘッド (レーザ出射部)
 408 ナノカンチレバー
 408A 探針 (プローブ)
 410 AOM (音響・光変調器)
 411 $\lambda/2$ 波長板
 412 第3のPBS
 413 偏光子
 414 ホトダイオード
 415 BPF
 416, 418, 423 アンプ
 420 遅延ライン
 421, 501 DBM
 422 LPF
 500 AFM試料ステージ制御部
 502 コントローラ
 504 試料のピエゾ素子
 600 ネットワークアナライザ
 601 ネットワークアナライザの信号入力端子

【図1】

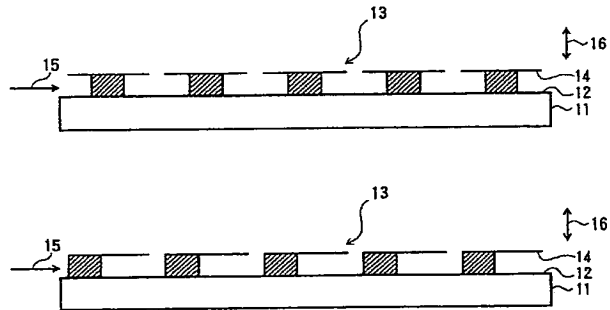


【図3】

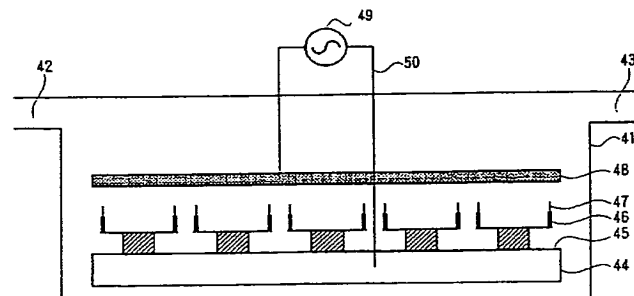


602 ネットワークアナライザの評価出力端子
 701 レーザ
 703 レンズ支持部
 704, 801, 811, 812, 813, 814, 831, 841, 851, 852, 853, 854, 861, 871 干渉キャビティ
 706 試料支持部
 803, 819, 833, 843, 859, 867, 877 カンチレバーアレイ
 10 804 レーザ光
 820, 860 一定光量のレーザ光 (波長 λ)
 834 強度変調されたレーザ光
 844, 868, 878 強度一定のレーザ光 (波長 λ)
 845 探針先端の軌跡
 846 スライダー
 847 スライダーの変位方向
 869 異なる強度変調周波数を有するレーザ光 (波長 λ)
 20 879 基板の斜め上方から照射される一定波長の入射光
 880 異なる周波数を有するレーザ光 (波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_5$)

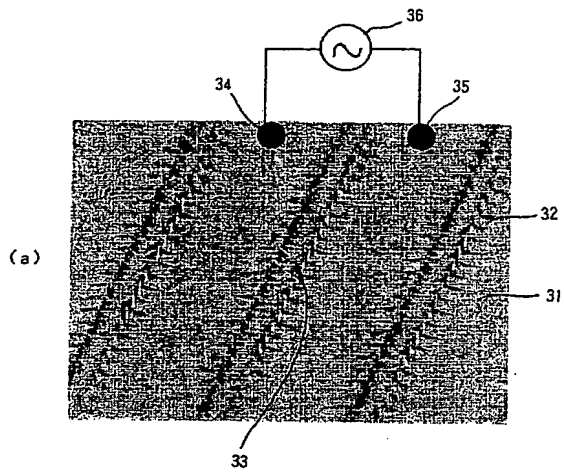
【図2】



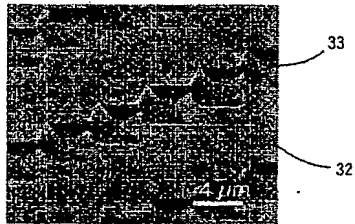
【図5】



【図 4】

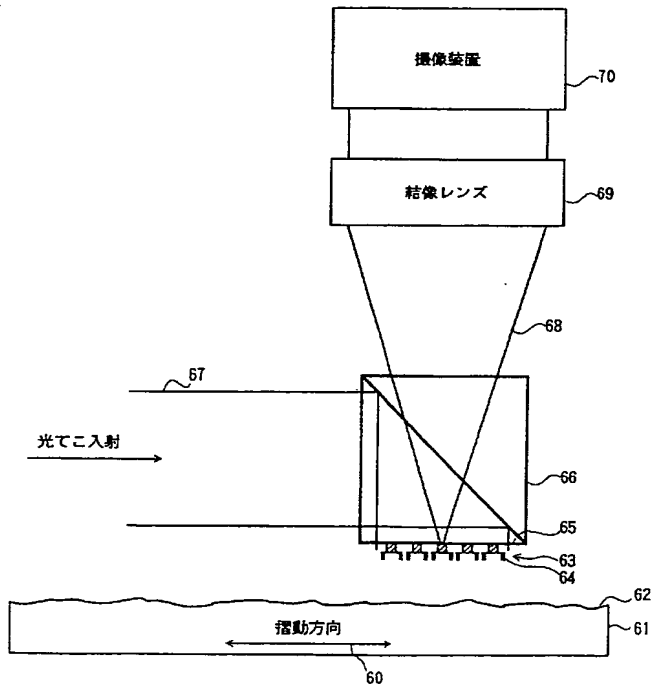


(a)

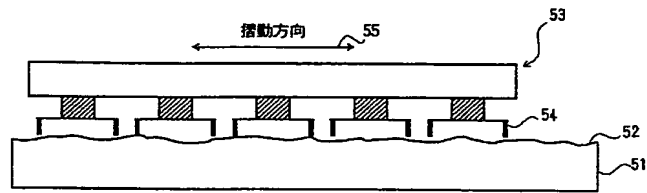


(b)

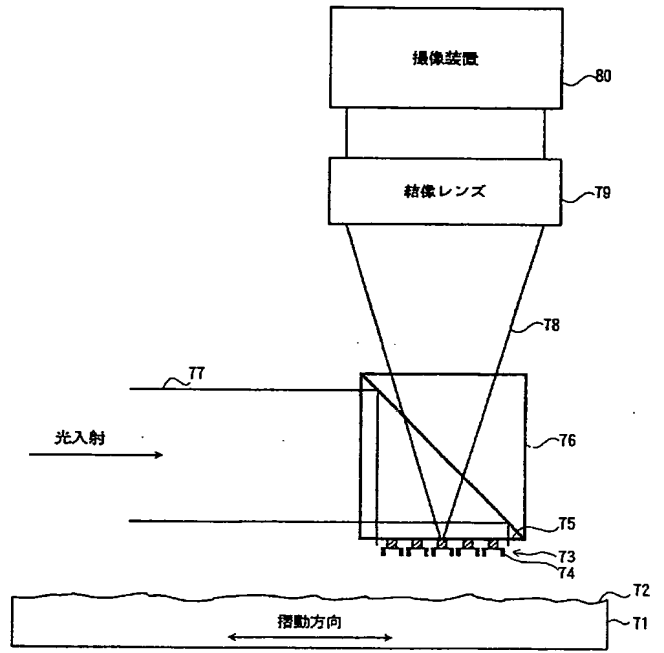
【図 7】



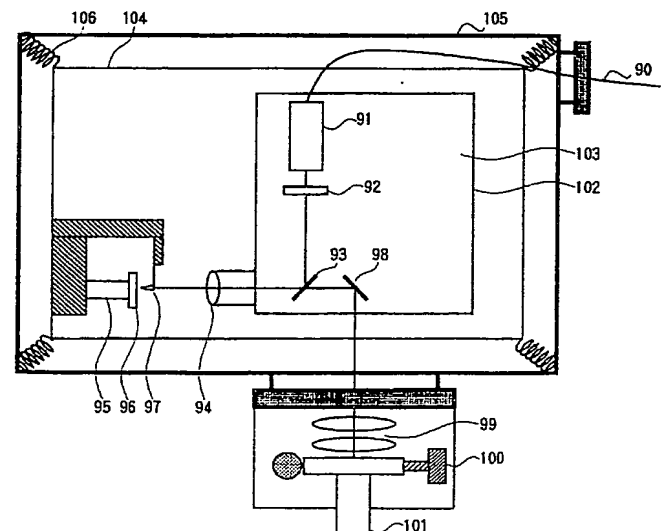
【図 6】



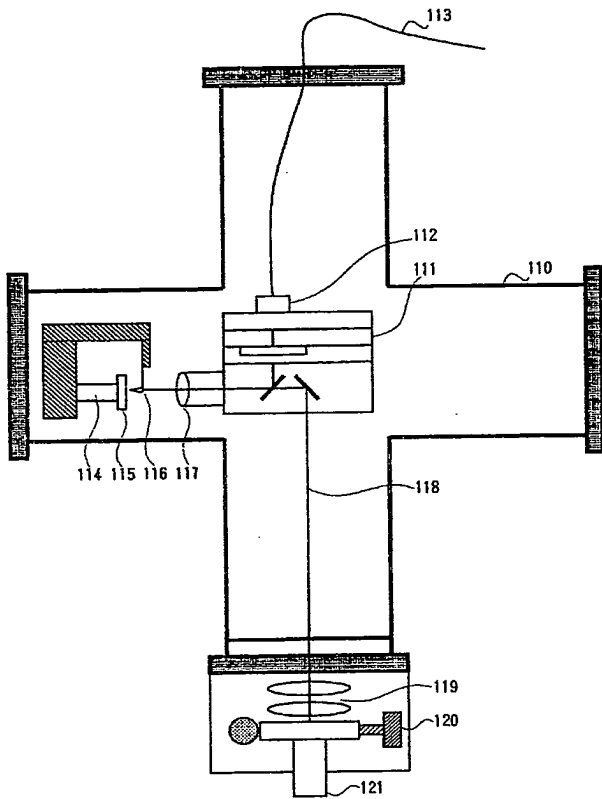
【図 8】



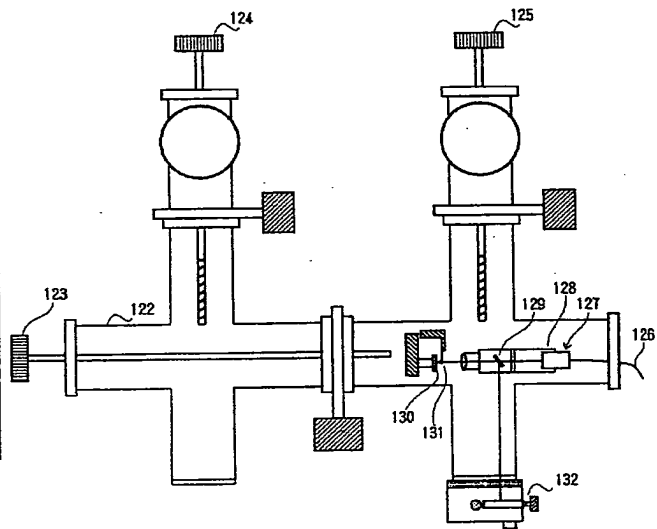
【図 9】



【図 10】

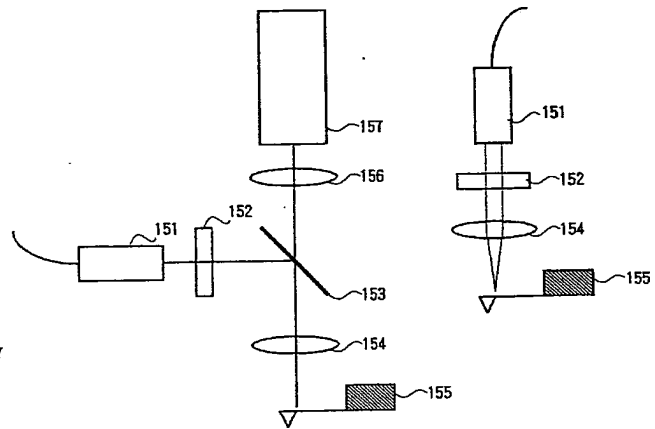


【図 11】

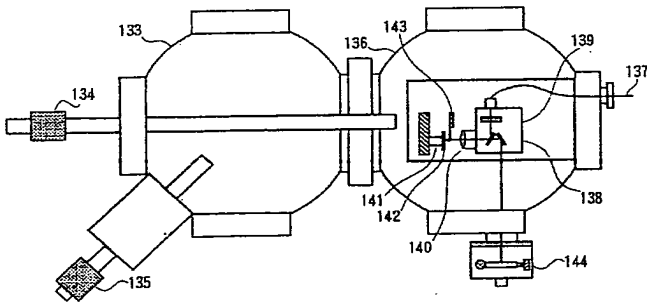


【図 13】

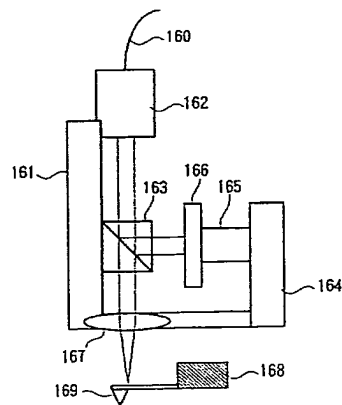
【図 14】



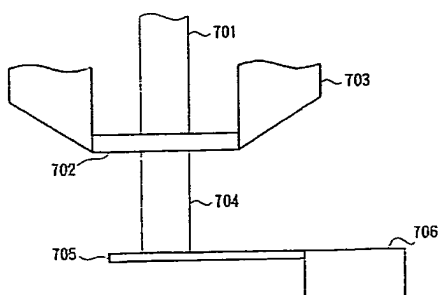
【図 12】



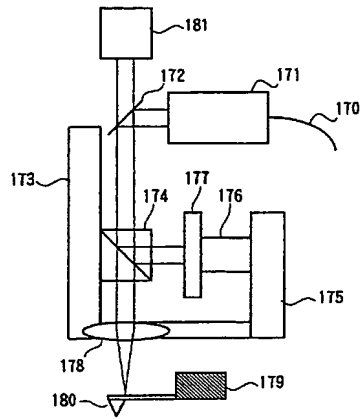
【図 15】



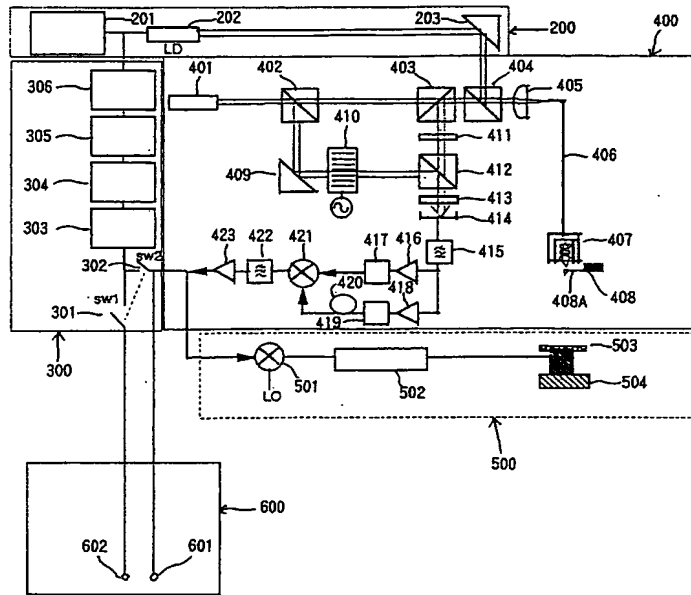
【図 18】



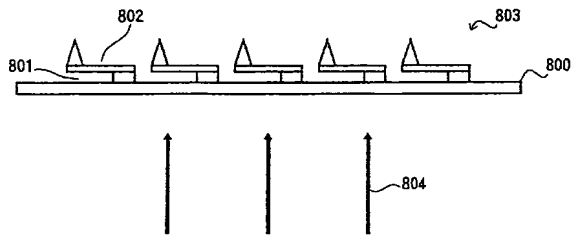
【図16】



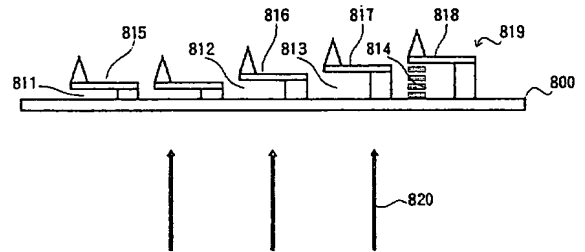
【図17】



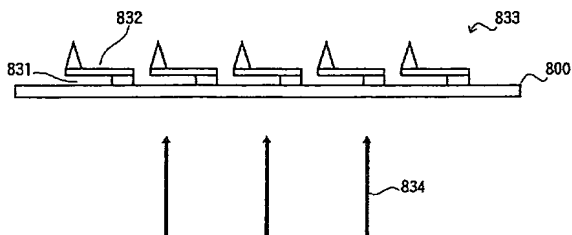
【図19】



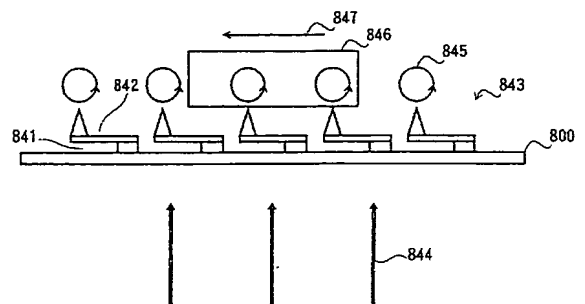
【図20】



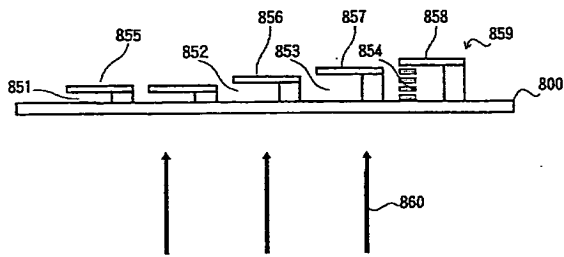
【図21】



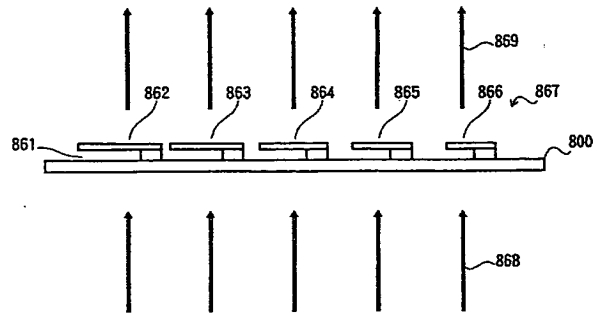
【図22】



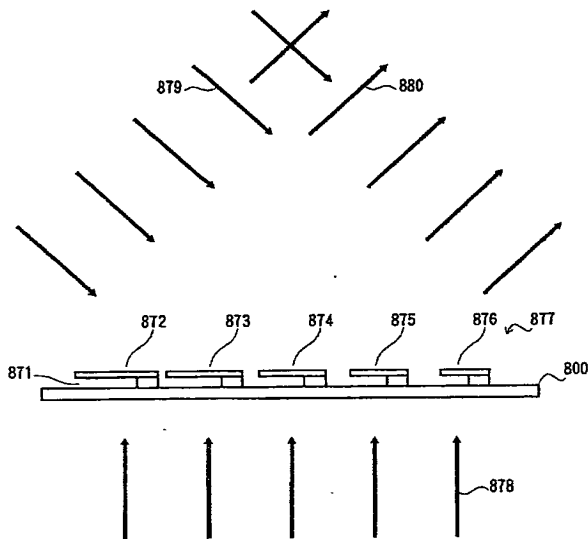
【図 23】



【図 24】



【図 25】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

ターコード* (参考)

G 0 1 N 13/16

G 0 1 N 13/16

C

G 0 2 B 21/00

G 0 2 B 21/00

G 1 2 B 21/02

G 1 2 B 1/00

6 0 1 A

Fターム(参考) 2F065 AA01 AA06 AA20 AA49 AA56
 BB01 DD03 FF04 FF41 HH03
 HH04 JJ03 JJ26 LL37 MM02
 PP12 QQ25 QQ31
 2F069 AA60 BB15 DD19 DD27 GG07
 HH02 HH09
 2H052 AB24 AC04 AC27 AD02 AF11
 AF14

- (54) 【発明の名称】 カンチレバーアレイ、その製造方法及びそれを用いた走査型プローブ顕微鏡、案内・回転機構の摺動装置、センサ、ホモダインレーザ干渉計、試料の光励振機能を有するレーザドップラー干渉計ならびにカンチレバーの励振方法

THIS PAGE BLANK (USPTO)